

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama  
Sidang Akademik 94/95

Oktober - November 1994

EEE 431 - Sistem Kawalan II

Masa: [3 jam]

---

ARAHAN UNTUK CALON

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEPULUH (10)** muka surat beserta Lampiran (2 muka surat) bercetak dan **ENAM (6)** soalan sebelum anda mula menjawab.

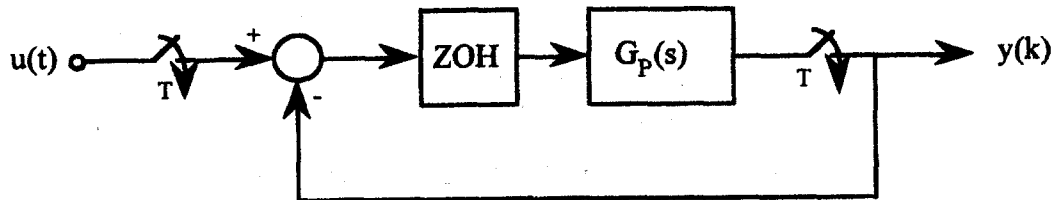
Jawab **LIMA (5)** dari enam soalan yang diberikan.

Pembahagian markah bagi setiap soalan disenaraikan di sut sebelah kanan dan adalah sebahagian dari jumlah markah yang diberi bagi soalan tersebut.

Jawab semua soalan dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

1. Suatu sistem masa selang dengan rangkap pindah gelung terbuka  $G_P(s)$ , yang ditunjukkan di dalam Rajah P.1., perlu dikawal secara digit dengan menggunakan perkakasan penyampel dan pemegang (*sample-and-hold*).



Rajah P.1.

Jika rangkap masa pindah selang,  $G_P(s)$ , yang diberikan ialah

$$G_P(s) = \frac{1}{(s+1)(s+2)}$$

- (a) tentukan rangkap pindah masa diskret yang setara baginya,  $G_D(z)$ .  
(15%)
- (b) Tentukan rangkap gelung tertutup  $H(z) = Y(z)/U(z)$ .  
(15%)
- (c) Tentukan julat kala (masa) penyampelan  $T$  yang boleh menghasilkan sistem yang stabil.  
(10%)
- (d) Jika kala (masa) penyampelan  $T = 1$  saat digunakan di dalam proses penyampelan, tentukan rangkap pindah masa diskret yang dihasilkan  $H(z)$ .  
(15%)

...3/-

- (e) Tentukan samada sistem gelung tertutup tersebut,  $H(z)$ , stabil atau tidak dengan menggunakan kaedah ujian Jury. (15%)
- (f) Jika sistem berkenaan dikenakan masukan unit langkah,  $u(t)$ , tentukan sambutan masa diskret sistem  $y(k)$ . Lakarkan juga sambutan langkah tersebut. (15%)
- (g) Dari sambutan langkah tersebut, anggarkan masa puncak (*peak time*),  $t_p$ , peratus lajukan (*percentage overshoot*), P.O., dan masa enapan (*settling time*),  $t_s$ . (15%)
2. Suatu sistem masa selangar diperihalkan dengan persamaan kebezaan keadaan (*state differential equation*) yang berikut:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + 4 \frac{dx(t)}{dt} + 8x(t) = u(t)$$

Keluaran bagi sistem berkenaan diberikan sebagai

$$y(t) = 8x(t)$$

- (a) Tentukan model ruang keadaan (*state-space model*) masa selangar bagi sistem berkenaan dalam bentuk kanonikal bolehkawal (*controllable*),

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A} \mathbf{x}(t) + \mathbf{b} u(t)$$

$$y(t) = \mathbf{c} \mathbf{x}(t)$$

(15%)

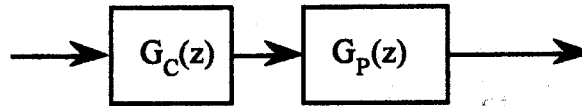
...4/-

- (b) Tentukan matriks-matriks kebolehkawalan (*controllability*) dan kebolehceraian (*observability*). Adakah sistem ini boleh dikawal dan boleh cerap? Terangkan kenapa.  
(15%)
- (c) Tentukan nilai-nilai *eigen* dan vektor *eigen* bagi matriks A. Apakah hubungan nilai ini dengan kedudukan kutub-kutub asal sistem?  
(15%)
- (d) Tentukan matriks peralihan (*transition matrix*) masa selangar  $F(t)$ .  
(15%)
- (e) Tentukan sambutan sistem apabila dikenakan masukan unit langkah dan syarat awal (*initial condition*)  $x(0) = x'(0) = 1$ .  
(15%)
- (f) Tentukan model ruang keadaan masa diskret bagi sistem berkenaan apabila masukan yang dikenakan,  $u(t)$ , ialah isyarat tersampel dan terpegang (*sampled-clamped signal*) dengan masa penyampelan  $T = 0.1$  saat.  
(15%)
- (g) Tentukan nilai-nilai  $x(k)$  dan  $y(k)$  bagi 5 sebutan yang pertama.  
(10%)
3. Suatu pemampas fasa mendahului (*phase-lead compensator*) masa selangar telah direka bentuk dan mempunyai rangkap pindah seperti di bawah

$$H(s) = \frac{100s + 1}{10s + 1}$$

...5/-

Pemampas ini akan dilaksanakan secara digit seperti ditunjukkan di dalam Rajah P.3. di bawah.

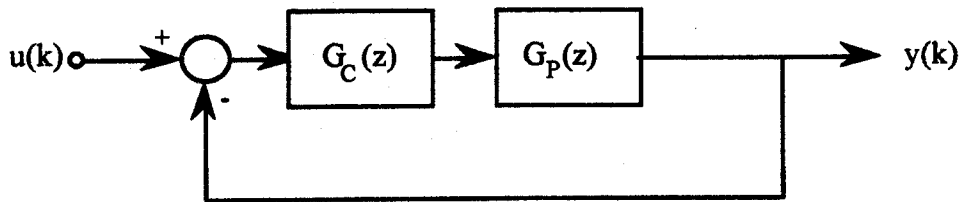


Rajah P.3.

Tentukan pemampas masa diskret yang setara menggunakan kesemua kaedah rekabentuk semula digit (*digital-redesign*) di bawah menggunakan masa penyampelan  $T = 0.25$  saat dan frekuensi kritikal  $\omega = 3$ .

- (a) Model setara pemegang tertib sifar (*ZOH equivalent*) (15%)
  - (b) Pengamiran berangka tertib sifar (15%)
  - (c) Pengamiran berangka tertib kedua (*Tustin*) (15%)
  - (d) Jelmaan dwi-lelurus (*bilinear transformation*) dengan pembentukan semula (*prewarping*) - (dengan frekuensi pemadanan pada  $\omega = 3$ ) (15%)
  - (e) Pemetaan kutub-sifar (*pole-zero mapping*) - (dengan frekuensi pemadanan pada  $\omega = 3$ ) (15%)
  - (f) Bentukkan satu jadual kedudukan kutub-sifar (*pole-zero configuration*) dan untung yang dikira pada frekuensi  $\omega = 3$ . (15%)
  - (g) Bandingkan perbezaan dan persamaan di antara kesemua kaedah-kaedah yang digunakan di atas (10%)
- ...6/-

4. Suatu sistem kawalan gelung tertutup digit, seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah P.4., perlu direka bentuk bagi loji,  $G_P(z)$ , menggunakan pemampas yang bersesuaian  $G_C(z)$ .



Rajah P.4.

- (a) Lakarkan lodar punca (*root locus*) bagi rangkap pindah gelung terbuka loji tersebut

$$G_P(z) = \frac{0.25 (z - 0.2)}{(z - 1) (z - 0.5)}$$

(15%)

- (b) Jika suatu pemampas untung tetap,  $G_C(z) = K$ , digunakan untuk membentuk sistem gelung tertutup tersebut, tentukan julat  $K$  yang akan menjadikan sistem tersebut stabil dan tidak stabil.

(10%)

- (c) Tentukan nilai  $K$  yang akan menghasilkan sistem redaman kritikal (*critically-damped*). Tentukan juga kedudukan sebenar kutub tersebut dan sambutan masa yang dialami oleh sistem apabila dikenakan masukan unit langkah.

(15%)

...7/-

- (d) Anggapkan bahawa pemampas dalam bentuk yang ditunjukkan di bawah akan digunakan bagi sistem suapbalik unit tersebut.

$$G_C(z) = \frac{K(z - q)}{(z - p)}$$

Tentukan sama ada suatu sistem gelung tertutup dengan rangkap pindah dalam bentuk di bawah akan dapat dibentuk,

$$T(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{(1 - b \cos a)z + b^2 - b \cos a}{z^2 - (2b \cos a)z + b^2}$$

dengan nilai  $a = 0.4$  dan  $b = 0.5$

(10%)

- (e) Apakah masa puncak (*peak time*),  $t_p$ , peratus lajukan (*percentage overshoot*), P.O., dan masa enapan (*settling time*),  $t_s$ , bagi sistem yang diingini dalam bahagian (d)?

(10%)

- (f) Gunakan kaedah londa punca untuk menentukan nilai-nilai  $K$ ,  $p$ , dan  $q$  yang akan dapat memberikan anggaran yang terbaik bagi sistem dengan rangkap pindah dalam bahagian (d)

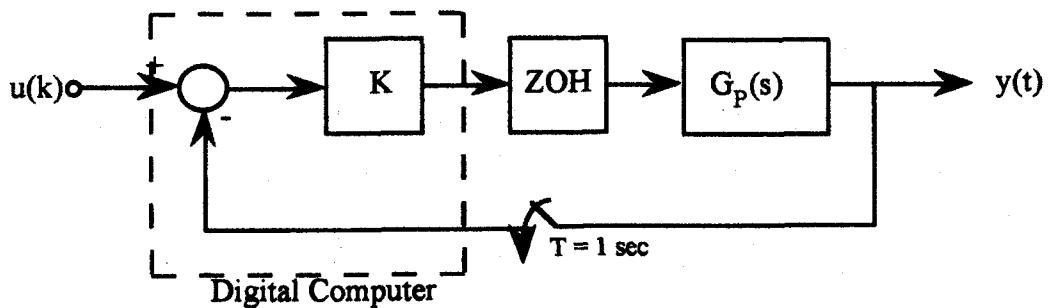
(20%)

- (g) Apakah ralat keadaan mantap bagi sistem yang diperolehi dengan rangkap pindah dalam bahagian (f)? Apakah pembaikan yang boleh dibuat (jika perlu) untuk mendapatkan ralat sifar bagi masukan langkah, rampa dan juga parabola?

(20%)

...8/-

5. Suatu komputer digit, seperti ditunjukkan dalam Rajah P.5, akan digunakan untuk memberikan kawalan berkadar (proportional control) (K ialah untung tetap).



Rajah P.5.

Jika rangkap pindah masa selangar,  $G_p(s)$  diberikan sebagai

$$G_p(s) = \frac{1}{s(s+1)}$$

- (a) tentukan rangkap pindah masa diskret yang setara  $G_D(z)$ .

(15%)

- (b) Tentukan rangkap pindah gelung tertutup  $T(z) = Y(z)/U(z)$ .

(10%)

- (c) Lakarkan londa-londa punca gelung terbuka bagi sistem selangar tersebut dan juga sistem digit yang setara.

(15%)

...9/



- (d) Menggunakan kaedah londa punca sebagai panduan, kira untung K supaya sistem tersebut mempunyai sistem yang mempunyai sambutan unit langkah yang bersifat redaman kritikal (*critically damped*) (15%)
- (e) Tentukan dan lakarkan sambutan langkah bagi sistem tersebut dan tentukan masa enapan (settling) 2%. (15%)
- (f) Tentukan pula suatu model sistem tertib kedua dominan yang diinginkan supaya mempunyai peratus lajukan 10% dan masa enapan kurang dari 2 saat (enapan 2%). (10%)
- (g) Rekabentuk pemampas yang bersesuaian untuk mencapai prestasi yang diterangkan di dalam bahagian (f). (20%)

6. Bagi suatu sistem yang mempunyai model persamaan keadaan di bawah

$$\mathbf{x}(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k)$$

$$y(k) = [1 \ 0] \mathbf{x}(k)$$

- (a) Tentukan matrik-matrik kebolehkawalan (*controlability*) dan kebolehcerapan (*observability*). Periksa sama ada sistem tersebut boleh di kawal, boleh diperhatikan dan boleh distabilkan. (15%)

...10/

- (b) Terangkan prinsip utama di dalam *Prinsip Pemisahan* ("Separation Principle"). (10%)
- (c) Reka bentuk penganggar tertib penuh (*full-order estimator*) dengan kutub-kutub pada  $p = 0.2$  (15%)
- (d) Reka bentuk dan tentukan matrik untung suapbalik keadaan (*state-feedback gain matrix*)  $F$  supaya sistem gelung tertutup yang dihasilkan mempunyai dua kutub pada  $p = 0.5$  (15%)
- (e) Reka bentuk penganggar tertib rendah (*reduced-order estimator*) dengan kutub pada  $p = 0.2$  (15%)
- (f) Reka bentuk dan tentukan matrik untung suapbalik keadaan (*state-feedback gain matrix*)  $F$  supaya sistem gelung tertutup yang dihasilkan mempunyai dua kutub pada  $p = 0.5$  (15%)
- (g) Selakukan sistem gelung tertutup yang dihasilkan dalam bahagian (e) dan (f) menggunakan masukan sifar (*zero input response*) menggunakan keadaan awal sistem pada  $\mathbf{x}(0) = [1 \ 0]^T$  dan keadaan awal sifar bagi penganggar. (Dapatkan 5 langkah penyelesaian yang pertama sahaja). (15%)

- oooOooo -

LAMPIRAN I

Ciri-ciri Jelmaan Z

Domain Jujukan	Domain Z
$f(k)$	$F(z)$
$af(k)$	$aF(z)$
$f_1(k) + f_2(k)$	$F_1(z) + F_2(z)$
$f(k + 1)$	$zF(z) - zf(0)$
$f(k + 2)$	$z^2F(z) - z^2f(0) - zf(1)$
$f(k + N)$	$z^NF(z) - z^Nf(0) - \dots - zf(N-1)$
$a^kf(k)$	$F\left(\frac{z}{a}\right)$
$f(0)$	$\lim_{z \rightarrow \infty} F(z)$
$f(\infty)$	$\lim_{z \rightarrow 1} (z-1)F(z)$
$f(k) * g(k) = \sum_{n=0}^k f(n) g(k - n)$	$F(z) G(z)$
$f(k-N)$	$z^{-N}F(z)$

Jelmaan bagi Jujukan

Domain Jujukan	Domain Z
$\{\delta(k)\}$	1
$\{1(k)\}$	$\frac{z}{z - 1}$
$\{k\}$	$\frac{z}{(z - 1)^2}$
$\{k^2\}$	$\frac{z(z + 1)}{(z - 1)^3}$
$\{k^3\}$	$\frac{z(z^2 + 4z + 1)}{(z - 1)^4}$
$\{a^k\}$	$\frac{z}{z - a}$
$\{k a^k\}$	$\frac{az}{(z - 1)(z - a)^2}$
$\{\sin \omega k\}$	$\frac{z \sin \omega}{(z^2 - 2z \cos \omega + 1)}$
$\{\cos \omega k\}$	$\frac{z(z - \cos \omega)}{(z^2 - 2z \cos \omega + 1)}$
$\{a^k \sin \omega k\}$	$\frac{az \sin \omega}{(z^2 - 2az \cos \omega + a^2)}$
$\{a^k \cos \omega k\}$	$\frac{z^2 - az \cos \omega}{(z^2 - 2a z \cos \omega + a^2)}$

LAMPIRAN II

Jadual Jelmaan

Domain Masa	Domain Jujukan	Domain S	Domain Z
$\delta(t)$	$\delta(kT)$	1	1
$1(t)$	$1(kT)$	$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$
$t$	$kT$	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$
$\frac{1}{2!} t^2$	$\frac{1}{2!} (kT)^2$	$\frac{1}{s^3}$	$\frac{T^2 z(z+1)}{2(z-1)^3}$
$\frac{1}{3!} t^3$	$\frac{1}{3!} (kT)^3$	$\frac{1}{s^4}$	$\frac{T^3 z(z^2+4z+1)}{6(z-1)^4}$
$e^{-at}$	$e^{-akT}$	$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z-e^{-aT}}$
$1-e^{-at}$	$1-e^{-akT}$	$\frac{a}{s(s+a)}$	$\frac{z(1-e^{-aT})}{(z-1)(z-e^{-aT})}$
$t - \frac{1-e^{-at}}{a}$	$kT - \frac{1-e^{-akT}}{a}$	$\frac{a}{s^2(s+a)}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{z(1-e^{-aT})}{a(z-1)(z-e^{-aT})}$
$e^{-at} - e^{-bt}$	$e^{-akT} - e^{-bkT}$	$\frac{b-a}{(s+a)(s+b)}$	$\frac{z(e^{-aT} - e^{-bT})}{(z-e^{-aT})(z-e^{-bT})}$
$t e^{-at}$	$kT e^{-akT}$	$\frac{1}{(s+a)^2}$	$\frac{Tz e^{-aT}}{(z-e^{-aT})^2}$
$\frac{1}{2} t^2 e^{-at}$	$\frac{1}{2} (kT)^2 e^{-akT}$	$\frac{1}{(s+a)^3}$	$\frac{T^2}{2} e^{-aT} \frac{Tz(z+e^{-aT})}{(z-e^{-aT})^3}$
$\sin \omega t$	$\sin \omega kT$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{z \sin \omega T}{(z^2 - 2z \cos \omega T + 1)}$
$\cos \omega t$	$\cos \omega kT$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{z(z - \cos \omega T)}{(z^2 - 2z \cos \omega T + 1)}$
$e^{-at} \sin \omega t$	$e^{-akT} \sin \omega kT$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{z e^{-aT} \sin \omega T}{(z^2 - 2z e^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT})}$
$e^{-at} \cos \omega t$	$e^{-akT} \cos \omega kT$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{z^2 - z e^{-aT} \cos \omega T}{(z^2 - 2z e^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT})}$
$e^{-at} \cos (\omega t - \theta)$	$e^{-akT} \cos (\omega kT - \theta)$	$\frac{\cos \theta (s+a) + \omega \sin \theta}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{z \cos \theta (z - \alpha) - z \beta \sin \theta}{(z - \alpha)^2 + \beta^2}$
			$\alpha = e^{-aT} \cos \omega T$ $\beta = e^{-aT} \sin \omega T$